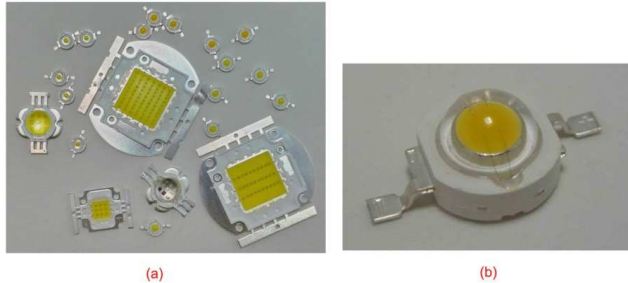


Dioda cahaya atau lebih dikenal dengan sebutan LED (*Light-Emitting Diode*) adalah suatu semikonduktor yang memancarkan cahaya monokromatik yang tidak koheren ketika diberi tegangan maju. *High-power* LED yang merupakan bahan utama pada perancangan skripsi ini adalah lampu LED dengan teknologi terbaru yang mampu menghasilkan intensitas cahaya yang tinggi(hingga 80-100W/lumen) dengan konsumsi daya yang kecil. Dengan *driver* untuk menyalakan LED ini.

High-Power LED menghasilkan panas yang cukup tinggi (*High Heat*). Akan tetapi, panasnya bukan berasal dari cahayanya melainkan dari bagian belakang LED tersebut. Sehingga lampu ini membutuhkan *heatsink* (sirip pendingin). *High-Power LED* ditunjukkan pada gambar 2 sebagai berikut



Gambar 2 *High-Power LED*

C. Switched-Mode Power Supply (SMPS)

SMPS adalah suatu peralatan untuk memberikan sumber DC dengan metode switching (penyaklaran) tegangan pada frekuensi tertentu. *Power supply* ini melakukan konversi daya melalui komponen – komponen yang bersifat rendah rugi dayanya (*low loss component*) seperti kapasitor, induktor, dan transformator. Keuntungan menggunakan SMPS adalah hasil konversi dayanya berefisiensi tinggi dibandingkan dengan *power supply* konvensional yang efisiensinya rendah.

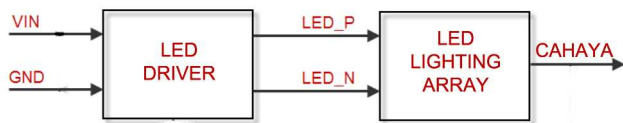
D. DC – DC Buck Converter

Buck converter adalah salah satu topologi DC – DC konverter yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan kendali penyaklaran. Komponen utama pada topologi *buck* adalah saklar, *diode freewheel*, induktor, dan kapasitor[Riwi, 2010].

III. PERANCANGAN

A. Blok Diagram Desain

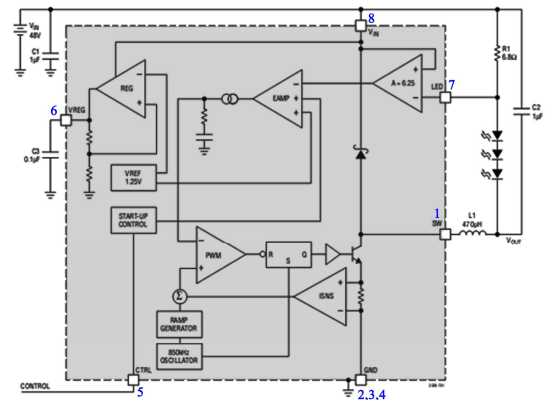
Diagram blok yang direncanakan dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini



.Gambar 3 Diagram Blok Rangkaian[Liang,2012]

Diagram blok lampu pada gambar 3 adalah gambaran secara umum susunan dalam lampu bohlam hingga dapat menghasilkan cahaya. VIN dan GND langsung dari tegangan bus 48V yang merupakan tegangan utama pada rumah DC. Kemudian VIN dan GND ini langsung disambungkan pada *LED driver* yang akan dirancang sesuai dengan desain yang diinginkan. Sisi keluaran positif *LED driver* LED_P dihubungkan pada masukan sisi positif *LED array* dan keluaran negatif *LED array* masuk ke sisi negatif pada *LED driver* yaitu LED_N. Jika susunan lampu sesuai dengan diagram blok ini maka LED dapat mengeluarkan cahaya.

Blok Diagram



Gambar 4 Diagram Blok LT3590

LT3590 merupakan sebuah *high voltage current mode buck mode LED driver* yang mampu membangkitkan arus konstan ke sebuah rangkaian LED hingga tegangan total 40V. Memiliki fitur *internal compensation*, sebuah *internal power switch* 55V dan sebuah *internal Schottky diode* 55V yang dapat meneruskan arus DC hingga 50mA dengan efisiensi hingga 91%[Navabi, 2008].

LT3590 ini mempunyai 3,3V *onboard linear regulator* yang memiliki kemampuan menyuplai hingga 1mA untuk digunakan oleh sebuah peralatan eksternal. Regulator 3,3V tetap tersedia bahkan pada saat keadaan *shut down*. Fitur ini dapat digunakan untuk *power-up* (menyalakan) *external controller* LT3590 yang hasilnya dapat mengontrol arus LED dengan mengaktifkan pin CTRL. Secara alternatif, pin output regulator (V_{REG}) boleh dihubungkan langsung ke pin CTRL (Pin 5). Pin CTRL jika diberi tegangan lebih dari 150mV, maka osilator, komparator PWM, dan *error amplifier* aktif. LT3590 menggunakan *buck mode converter* untuk meregulasi tegangan output ke level tegangan yang dibutuhkan LED agar sesuai dengan arus yang dibutuhkan[Navabi, 2008].

B. LED Array

Pada bagian ini, desain dan pemilihan tipe LED akan dibahas. Desain ini harus sesuai dengan dimensi standar yang digunakan di Indonesia. Jadi, desain *LED array* ini harus sesuai dengan dimensi lampu tersebut.

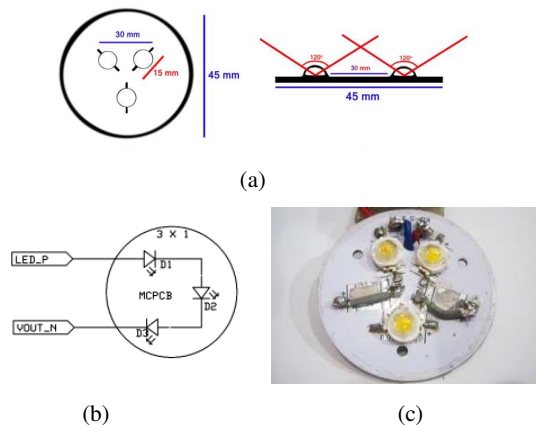
Karena pada skripsi ini tidak dibahas tentang mekanik lampu, maka untuk kerangka lampu akan menggunakan sisa kerangka lampu yang sudah ada. Pada skripsi ini akan digunakan kerangka lampu bohlam LED Royal 12VDC yang telah ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Mekanik Lampu

a) Light Diffuser (b) Aluminium Heatsink dan E27 Screw Base (c) Diameter Aluminium Heatsink.

LED yang digunakan adalah merek EPISTAR. Dengan melihat spesifikasi lampu di atas bahwa lampu tersebut dapat menghasilkan *luminous flux* sebesar 400 lm, maka tiap LED memiliki *luminous flux* antara 80 – 90 lm. Jadi, jika menggunakan 3 buah LED, maka seharusnya dapat menghasilkan *luminous flux* hingga 240lm[Epistar, 2011]. Karena menggunakan 3 LED sebaiknya disusun dengan deret berbentuk segitiga di atas sebuah *Metal-Core PCB*. Gambar LED array yang digunakan pada penelitian seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 berikut



Gambar 6 MCPCB(a)Desain jarak Antar LED (b) Desain Skematik (c) Desain fisik.

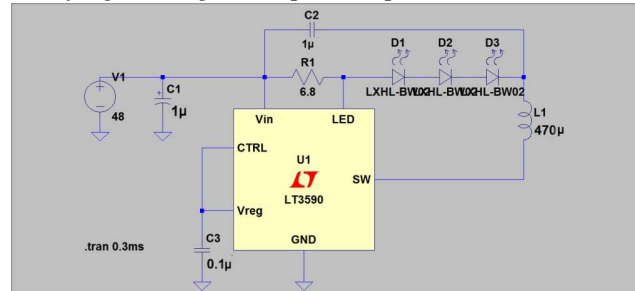
Berikut ini akan dijelaskan perhitungan posisi dan jarak antar LED. Karena menggunakan 3 buah LED maka sebaiknya diletakkan dalam posisi segitiga. Hal ini dimaksudkan agar cahaya LED yang keluar sama rata. Kemudian jarak antar LED dihitung dengan mengetahui ukuran LED secara keseluruhan. Panjang tiap LED beserta kakinya adalah 15 mm. Penulis bermaksud meletakkannya pada posisi segitiga sama sisi karena memiliki *viewing angle* sebesar 120° . Sehingga cara mencari jarak LED yang dilakukan adalah dengan menentukan jarak antar LED tersebut (sisi segitiga sama sisi) berasal dari panjang LED dikalikan 2, sehingga jaraknya adalah 30 mm. Jarak ini merupakan jarak yang paling sesuai dengan diameter MCPCB. Perhitungan ini dimaksudkan agar lampu bohlam dapat menghasilkan tingkat terang yang maksimum. Akan tetapi hal ini dapat menyebabkan cahaya keluar dalam satu

spot saja. Oleh karena itu, diperlukan *light diffuser* (Gambar 3.2) agar cahaya bisa menyebar.

Heatsink yang digunakan juga menggunakan ulang MCPCB milik lampu Royal ini karena belum ada yang menyediakan percetakan MCPCB.

C. LED Driver

Pada gambar 7 dibawah ini merupakan desain LED driver yang akan digunakan pada lampu bohlam DC.

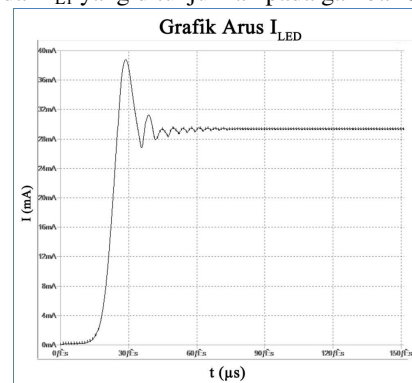


Gambar 7 Skematik LED Driver pada 48V Buck Mode LED Driver

Dengan spesifikasi komponen sebagai berikut

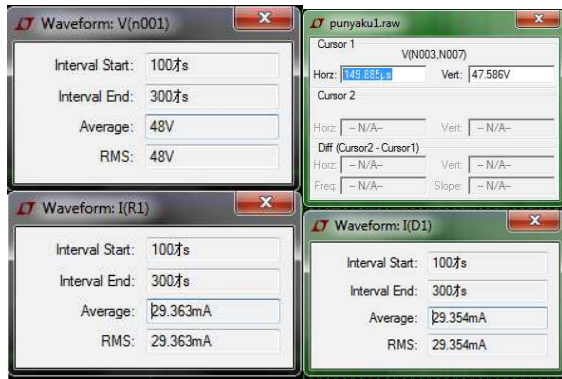
- Resistor $6,8\Omega$ untuk menghasilkan I_{LED} 30mA.
- Induktor $470\mu H$ untuk menjaga arus DC tetap konstan.
- Kapasitor Polar C_1 $1\mu F$ 50V merupakan kapasitor output untuk dilewati oleh VIN 48V
- Kapasitor Nonpolar C_2 $1\mu F$ kapasitor regulator pada deret LED.
- Kapasitor Nonpolar C_3 $0,1\mu F$ kapasitor regulator yang dihubungkan pada kaki Vreg yang memiliki tegangan regulator.

Kemudian keluaran LED driver akan ditunjukkan dan dianalisis dengan menggunakan program simulasi LTSpice untuk I_{LED} dan I_{L1} yang ditunjukkan pada gambar 8.

Gambar 8 Grafik I_{LED} terhadap t

Grafik I_{LED} ditunjukkan pada gambar 8 merupakan grafik arus terhadap waktu yang terjadi pada D_1 . Namun karena LED dipasang seri, maka grafik arus pada D_2 dan D_3 juga sama. Arus yang masuk ditentukan oleh besarnya resistor R_1 yang dipasang.

Dengan simulasi ini dapat kita dapatkan P_{LED} dan P_{IN} yang akan ditunjukkan pada gambar 9 berikut,



Gambar 9 Besar (a) V_{IN} dan I_{IN} (b) V_{OUT} dan I_{OUT} Pada Simulasi LTSpice

Untuk menghitung efisiensinya, data pada gambar 9 dihitung menggunakan persamaan 4.3 dan hasilnya harus dikalikan 3 karena menggunakan LED sebanyak 3 buah. Kemudian untuk mengetahui efisiensi dari hasil ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

$$Efisiensi = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan menggunakan data pada gambar 4.5 kemudian dihitung dengan persamaan 1 dan 2 didapatkan efisiensi lampu yang dihasilkan melebihi 80% yaitu 97,51%.

D. Hasil Simulasi

Hasil simulasi secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 1 Hasil Desain dan Simulasi Lampu Bohlam LED DC

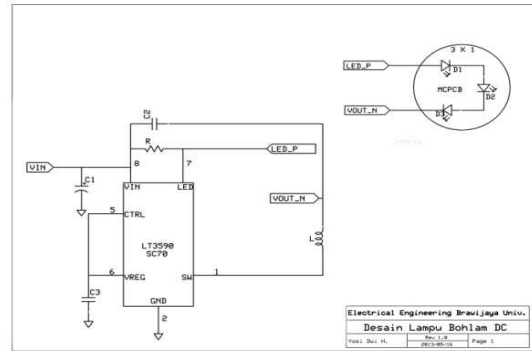
Parameter	Spesifikasi
Tegangan Bus (Simulasi): V_{IN}	48V
Tegangan Output keadaan Buck Mode : V_{LED}	0V – 12V
Efisiensi Beban Penuh*	97,51%
Total Konsumsi Daya*	4,189W
Jumlah LED yang diseri	3 buah
Color Temperature	Cool White
Suhu LED Junction Maksimum	85°C
Luminous Flux	Hingga 240lm
Tegangan Maju Maksimum	3,25V
Arus Maju Maksimum LED	350mA
Menggunakan Tegangan Regulasi Konstan	Ya
Menggunakan Arus Regulasi Konstan	Ya

*Hasil Simulasi menggunakan AOT-2005 (x3)

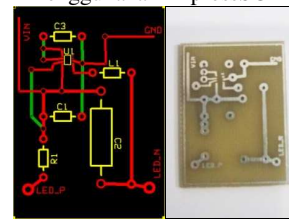
IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

A. Desain Layout PCB Custom 2-layer

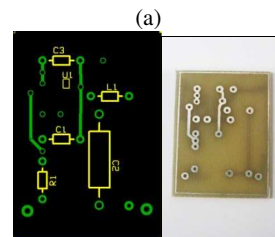
Untuk desain PCB lampu bohlam ini ada dua langkah. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat skematik rangkaian. Pada skripsi ini menggunakan ExpressSCH. Setelah selesai membuat rangkaian skematik barulah bisa membuat desain PCB yang menggunakan aplikasi ExpressPCB yang merupakan aplikasi desain PCB yang menyediakan mulai dari 2-layer sampai 4-layer.



Gambar 10 Desain Skematik untuk Lampu Bohlam DC menggunakan ExpressSCH



Layer 1 (1) Desain Skematik (2) Desain Fisik

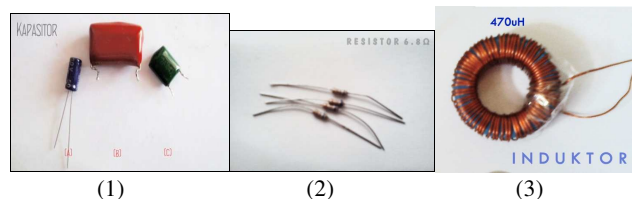


Layer 2 (1) Desain Skematik (2) Desain Fisik

Gambar 11 Desain PCB 2 Layer.[penulis]

Gambar (a) menunjukkan layer pertama(b) menunjukkan layer kedua. Setelah dicetak desain layer PCB yang berdimensi 3,5 x 2,5 cm di atas, dapat dipasang komponen – komponen serupa yang sudah ditentukan pada *datasheet* LTSpice.

Berikut ini akan ditunjukkan komponen – komponen yang digunakan pada rancang bangun lampu bohlam LED DC ini.



Gambar 12 Komponen – Komponen Pada Rangkaian Luar[Penulis]

(1) Kapasitor (a) Polar 1μF (b)Nonpolar 1μF (c)Nonpolar 0,1μF; (2) Resistor;(3) Induktor

Pemilihan komponen – komponen diatas sesuai dengan yang telah dijelaskan pada bab 3.

B. Desain LED Array dan Heatsink

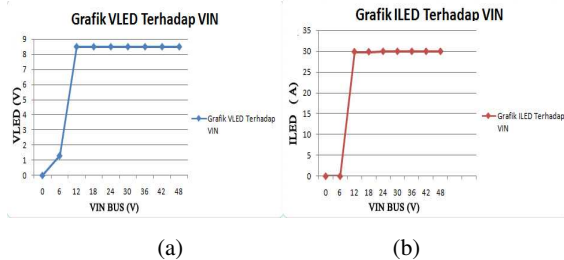
Untuk desain LED array dan heatsink ini, seperti yang telah dijelaskan pada bab 3.

C. Pengujian Efisiensi

Berikut ini adalah tabel hasil pengukuran menggunakan multimeter yang dilakukan untuk mendapatkan V_{LED} dan I_{LED} pada masukan V_{IN} mulai dari 0V – 48V.

Tabel 3 Tabel Data Hasil Pengukuran Lampu Bohlam LED DC.

V_{IN} (V)	I_{IN} (mA)	P_{IN} (W)	V_{LED} (V)	I_{LED} (mA)	V_{OUT} (V)	P_{OUT} (W)	EFISIENSI	KONDISI LAMPU
0	0	0	0	0	0	0	-	Padam
6	0.6	0.0108	1.3	0	4.3	0	0	Padam
12	122	4.3920	8.5	29.9	3.9	0.3498	7.9652	Menyala
18	70.8	3.8232	8.5	29.9	9.7	0.8701	22.7582	Menyala
24	52.3	3.7656	8.5	30	17.7	1.5930	42.3040	Menyala
30	40.6	3.6540	8.5	30	23.8	2.1420	58.6207	Menyala
36	35.8	3.8664	8.5	30	29	2.6100	67.5047	Menyala
42	30.9	3.8934	8.5	30	32.9	2.9610	76.0518	Menyala
48	26.5	3.8160	8.5	30	39.6	3.5640	93.3962	Menyala



Gambar 13 Grafik (a) V_{LED} terhadap V_{IN} dan (b) I_{LED} terhadap V_{IN}

Sesuai dengan prinsip kerja LT3590 yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, bahwa dengan membandingkan tegangan yang masuk pada PWM komparator, maka tegangan yang keluar dari PWM komparator tersebut akan menentukan besar arus yang masuk ke LED.

Lampu LED ini secara teori belum bisa menyala sebelum berada pada tegangan input 11,59V dengan perhitungan menggunakan rumus pada *datasheet*. Sedangkan pada prakteknya belum menyala sebelum mencapai $V_{IN} = 10V$. Pada perhitungan efisiensi ini didapatkan efisiensi lampu sebesar 93,39%, hal ini membuktikan bahwa lampu hasil perancangan ini memiliki efisiensi yang tinggi.

D. Pengujian Suhu

Untuk pengujian suhu perangkat lampu bohlam DC ini menggunakan thermometer infrared yaitu merupakan alat pengukur suhu yang menggunakan laser.



Gambar 14 Termometer Infra Merah

Untuk suhu LED *Junction* maksimum telah dijelaskan pada *homepage* Epistar adalah 85°C dan agar LED dapat berumur panjang sebaiknya suhu yang terukur kurang dari suhu maksimum tersebut [Epistar, 2011].

Tabel 4 Hasil Pengukuran Suhu Pada PCB dan LED Array Menggunakan Termometer Infra Merah

t (Menit)	Suhu (°C)					
	Hari 1		Hari 2		Hari 3	
	PCB	LED Array	PCB	LED Array	PCB	LED Array
0	28	28.3	27	28	28	28.4
5	29	31.9	27.7	32.1	28.9	34.3
10	31	35.2	28.2	34.5	31	33.6
15	33	40.3	28.6	41.1	32	43.3
20	35	43	29	42.1	33.5	41.4
25	36.4	46.6	29.4	45	35	47.1
30	35.8	51	31	50.5	35.4	50.2
35	35.9	53.5	32.1	55.9	35.9	55.1
40	36	55.3	34.5	58.3	36	58.1
45	36	58.6	34.9	59.9	36.1	60
50	36	61.3	35.5	61.3	36.6	61.6
55	36	61.4	35.5	61.7	37	61.8
60	36	61.4	35.6	61.8	36.9	61.8

Pada tabel hasil pengukuran suhu (tabel 4), didapatkan suhu berada dibawah 85°C. Dengan suhu di atas keadaan LED berada pada tingkat aman sehingga dapat berumur panjang. Akan tetapi posisi *aluminium heatsink* yang ditempelkan pada MCPCB kurang tepat. Jadi, apabila rangkaian lampu berada dalam kerangka dan MCPCB ditempelkan tepat pada *aluminium heatsink* tersebut, dapat diperkirakan suhu bisa lebih dingin daripada yang disebutkan pada tabel.

E. Pengujian Tingkat Terang

Pada pengujian tingkat terang ini menggunakan alat lux meter terlebih dahulu. Setelah mendapatkan data menggunakan alat ukur ini yaitu dalam lm/m^2 maka dapat mencari *luminous efficacy* dengan menggunakan beberapa rumus berikut

$$luas\ bola = 4\pi r^2 \quad (3)$$

$$1lux = \frac{lumens}{m^2} \quad (4)$$

$$luminous\ efficacy = \frac{lumens}{Pin} \quad (5)$$

$$F_{total} = \frac{E \times A}{k_p \times k_d} \quad (6)$$

Jarak antara lampu dengan luxmeter ditentukan sejauh 100 cm didapatkan dengan persamaan 6. pada jarak tersebut didapatkan intensitas cahaya sebesar 25 lux. Dengan data ini dan dihitung menggunakan persamaan 3,4, dan 5. Sehingga didapatkan *luminous flux* sebesar 314 lumen dan didapatkan pula *luminous efficacy* sebesar 82,29lumen/W pada tegangan 48V.

Tabel 5 Tabel Pengukuran dan Perhitungan Intensitas Cahaya

no	Jarak (m)	Kuat Pencahayaan (Lux)	V_{IN}	I_{IN}	P_{IN}	Luas bola (m^2)	Luminous Flux (lm)	Luminous Efficacy (lm/W)
1	1	25	0	0	0	12.56	314.00	0.00
2	1	25	6	0.6	0.0108	12.56	314.00	0.00
3	1	25	12	122	4.392	12.56	314.00	71.49
4	1	25	18	70.8	3.8232	12.56	314.00	82.13
5	1	25	24	52.3	3.7656	12.56	314.00	83.39
6	1	25	30	40.6	3.654	12.56	314.00	85.93
7	1	25	36	35.8	3.8664	12.56	314.00	81.21
8	1	25	42	30.9	3.8934	12.56	314.00	80.65
9	1	25	48	26.5	3.816	12.56	314.00	82.29

Dengan melakukan perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa lampu bohlam LED ini telah memenuhi kriteria kebutuhan minimum penerangan dalam ruangan suatu rumah.

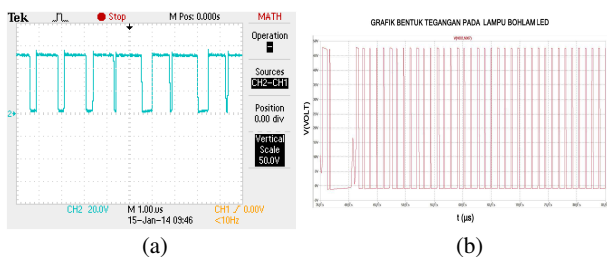
F. Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengujian

Untuk perbandingan hasil pengujian dan hasil simulasi yang lebih jelas akan ditampilkan pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Tabel Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengujian

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengujian
Range tegangan input	12V - 48V	12V - 48V
Tegangan LED (V_{LED})	8,645V	8,5V
Efisiensi Pada Beban Penuh	97,51%	93,39%
Konsumsi Daya	4,189W	3,86W
Manufaktur LED	AOT	EPISTAR
Jumlah LED yang diseri	3 buah	3 buah
Luminous Efficacy	80 lm/W	82,29 lm/W
Luminous Flux	240 lm	314 lumen
Arus Maksimum	350mA	30mA
Suhu Maksimum	85°C	61,8°C
Regulasi Arus Konstan	Ya	Ya
Regulasi Tegangan Konstan	Ya	Ya

Seperti yang telah ditampilkan pada tabel 6 di atas bahwa hasil pengujian menghasilkan data yang mendekati hasil simulasi. Kemudian akan ditunjukkan grafik tegangan teregulasi pada LT3590 dengan grafik simulasi dibandingkan dengan grafik osiloskop



Gambar 15 Grafik Tegangan Teregulasi (a) Hasil Osiloskop (b) Hasil Simulasi

Gambar 15 menunjukkan grafik karakteristik yang dihasilkan oleh LT3590 yang merupakan *buck mode* LED driver. Keduanya menunjukkan bentuk tegangan yang melalui LED yang besarnya sekitar 48V.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

- Pada simulasi desain lampu bohlam LED DC ini sesuai dengan desain elektrik yang diinginkan. Hasil simulasi tersebut menghasilkan efisiensi sebesar 98% yang bekerja pada tegangan bus sebesar 48VDC. Lampu ini juga berdaya 3W saja. Sedangkan uji laboratorium efisiensi lampu yang dihasilkan adalah 93,39%.
- Desain fisik lampu ini seharusnya sudah memenuhi syarat dimensi lampu yang umum dipakai di Indonesia. Akan tetapi, ukuran inti ferit induktor yang digunakan sangat besar, sehingga PCB lampu tidak bisa dimasukkan ke dalam kerangka lampu.
- Untuk *luminous flux*, dan *luminous efficacy* pada hasil uji laboratorium didapatkan sebesar 314 lumen dan 82,29 lm/W. Dengan hasil ini, dapat dikatakan bahwa lampu hasil

rancangan pada skripsi ini dapat memenuhi kriteria penerangan suatu ruangan.

- Suhu LED yang sangat tinggi seharusnya dapat diantisipasi dengan *aluminium heatsink*. Akan tetapi, seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa PCB LED driver lampu tidak dapat dimasukkan ke dalam kerangka karena induktor yang sangat besar. Sehingga, MCPCB lampu LED ini juga tidak bisa ditempelkan pada *aluminium heatsink* tersebut. Walaupun pada pengujian suhu yang menggunakan thermometer infra merah masih menunjukkan angka dibawah 85°, jika MCPCB dapat ditempelkan pada *aluminium heatsink*, maka suhu LED masih bisa di bawah suhu yang sudah terukur

B. SARAN

1. Perlu melakukan penelitian lebih lanjut terhadap rangkaian luar untuk chip LT ini sendiri agar mendapatkan hasil lampu yang baik dengan efisiensi yang lebih tinggi.
2. Pengembangan juga bisa dilakukan misalnya dengan meningkatkan *range* tegangan input, memberikan rangkaian *dimmer* pada lampu, dan memperkecil ukuran PCB LED Driver.
3. Pemilihan induktor juga perlu diteliti kembali agar ukuran induktor tersebut sesuai dengan LED Driver dan dapat dimasukkan kedalam kerangka lampu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cabaj. Mark, *DC House Model Design and Construction*. Senior Project, San Luis Obispo, CA: Cal Poly State University, 2012.
- [2] Epistar Co. [2011, October 03] “*EPISTAR LAB Launched a New Platform to Achieve 3.0V White LED Chip at 1A Operation*” [Internet]. Tersedia: http://www.epistar.com.tw/english/04_pr/02_detail.php?SID=29
- [3] Liang. Kent, “*Design of DC Light Bulb for DC House Project*”, San Luis Obispo, CA: Cal Poly State University, 2012.
- [4] Linear Technology, “*LT3590, 48V Buck Mode LED Driver in SC70 and 2mm x 2mm DFN Datasheet*”. Tersedia: <http://www.linear.com>
- [5] Navabi, Mohammad J. [2008, January] “*Efficient 48V Buck Mode LED Driver Delivers 50mA*” Linear Technology Magazine. Tersedia: <http://www.linear.com>
- [6] Riwi1403. [2010, June 23]. “*Dasar Teori Buck Converter*” [Internet]. Tersedia: <http://www.scribd.com/doc/33454045/Bab-II-Dasar-Teori>